

土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析

文 / 范君峰 青岛环湾置业有限公司

赵启明 青岛环湾置业有限公司

摘要: 在土木工程建筑领域, 混凝土裂缝的有效管理是确保结构安全性和功能性的关键。本文详细分析了多种混凝土裂缝的施工处理技术, 包括裂缝的初步识别、分类以及适应各种情况的修补方法。特别强调了原材料质量控制、施工工艺的优化、环境条件的精确控制以及先进的裂缝修补技术如灌浆法和钢筋补强法等。本文旨在为工程师提供一套全面的策略, 用于识别、预防和修复土木工程建筑中的混凝土裂缝。

关键词: 土木工程建筑; 混凝土裂缝; 施工处理技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.031

引言

混凝土裂缝在土木工程建筑中是一种常见的问题, 是由多种因素引起, 包括材料性质、施工技术、环境影响等。裂缝的存在不仅影响结构的美观, 还会威胁到建筑的结构安全性和功能性。因此, 有效的裂缝管理和修复技术对于任何土木工程项目都是至关重要的。

一、混凝土裂缝的分类

(一) 按裂缝成因分类

混凝土裂缝按成因分类可以细分为五类: 结构性裂缝、温度裂缝、收缩裂缝、沉降裂缝和化学裂缝。结构性裂缝源于混凝土构件在受力不均或设计不当时产生的应力超出材料承受能力, 常见于梁、板、柱等承重构件。温度裂缝由温度变化引起的混凝土体积变化导致, 尤其在大体积混凝土中因内外温差显著而更为常见。收缩裂缝是由混凝土硬化过程中水分蒸发引起体积收缩而形成的, 其裂缝多呈网状分布, 影响美观和结构细密性。沉降裂缝发生在基础不均匀沉降或负荷突然增加的情况下, 这类裂缝通常从结构的最弱点开始扩展。化学裂缝则是由混凝土中材料的化学反应, 如碱-骨料反应等引起, 这种裂缝的发展会对结构的长期稳定性造成威胁。各类裂缝的识别和分类是制定有效维修和加固措施的基础, 对于保证结构安全性和功能性至关重要。

(二) 按裂缝宽度分类

混凝土裂缝根据宽度的不同可分为微裂缝、细裂缝和宽裂缝。微裂缝的宽度通常小于0.1mm, 这种裂缝通常对结构的整体性能影响较小, 但长期存在会对混凝土的耐久性产生潜在风险。细裂缝的宽度介于0.1mm~0.5mm之间, 这类裂缝在视觉上不易被察觉, 但如果裂缝穿透整个构件, 需要进行进一步的评估以确定是否影响了结构的防水或承载能力。宽裂缝宽度超过0.5mm, 这种裂缝通常表明混凝土构件中存在较严重的应力集中或结构受损, 需要立即评估和处理, 以防止水分和有害化学物质渗透, 加剧构件的损害。裂缝宽度的准确测量对于评估裂缝的严重性和确定合适的修复方法至关重要, 使用专业的测量工具和技术可以确保数据的准确性和裂缝处理的有效性^[1]。

(三) 按裂缝走向分类

混凝土裂缝按照走向分类主要分为垂直裂缝、水平裂缝和斜向裂缝。垂直裂缝通常与受力方向垂直, 多发生在墙体、柱子或其他垂直支撑结构中, 这类裂缝往往指示结构上部受到不均匀的垂直荷载或底部支撑不足。水平裂缝则多出现在墙体的中部或接近基础的位置, 常由地基不均匀沉降或水平荷载引起, 特别是在地震或风力作用下更为明显。斜向裂缝则倾斜于主载荷方向, 常见于受剪力影响的区域, 如梁的支点附近, 这种裂缝的存在暗示结构连接处的剪切力超出设计标准。正确识别裂缝的走向有助于分析结构受力状况和潜在的结构缺陷, 是制定有效加固或修复策略的关键步骤。

二、混凝土裂缝的检测与评估技术

(一) 裂缝检测方法

混凝土裂缝的检测方法包括目测法、非破坏性检测技术、超声波检测以及红外热成像检测。目测法是最基本的裂缝检测手段, 依赖于专业人员对裂缝宽度、长度和分布的直接观察, 常用于初步评估裂缝的外观和可能的影响。非破坏性检测技术, 如地质雷达(GPR)和电磁波检测, 能深入混凝土内部, 探测裂缝深度及周围钢筋的状况, 适用于更复杂或隐蔽的裂缝评估。超声波检测利用声波在材料中的传播速度差异来确定裂缝的位置和大小, 特别适合于评估深层裂缝和结构内部缺陷。红外热成像检测通过捕捉混凝土表面的温度分布来识别裂缝, 因为裂缝区域的热传导会与完整区域不同, 这种方法对于快速识别大面积裂缝分布尤为有效。这些方法各有优势, 结合使用可以全面评估混凝土结构的裂缝状况, 为后续的修复和加固提供科学依据。

(二) 裂缝评估方法

裂缝宽度和深度的评估是混凝土结构健康监测的关键组成部分, 用于确定裂缝的严重性及其对结构完整性的潜在影响。裂缝宽度评估通常使用数字化裂缝宽度仪或裂缝显微镜进行精确测量, 这些设备能够提供高达0.01mm分辨率的读数, 从而准确记录裂缝的最小变化。此外, 某些高级设备还具备自动化记录和时间跟踪功能, 能够持续监控裂缝宽度随时间的变化情况, 为裂缝

动态行为分析提供数据支持。对于裂缝深度的评估，则常采用超声波脉冲回波法或地质雷达（GPR）技术，这些方法能够通过分析混凝土内部的声波或电磁波反射特征，推断裂缝的深度^[2]。

三、混凝土裂缝的施工处理技术

（一）裂缝修补技术

1. 表面修补法

表面修补法是混凝土裂缝处理中常用的一种技术，主要适用于处理浅表裂缝或非结构性裂缝。该方法首先涉及对裂缝周围区域的清洁，去除松动的颗粒和污染物，确保修补材料能与原有结构良好结合。接着，通常会使用环氧树脂或聚合物改性水泥砂浆进行填充，这些材料因其优异的粘接性和耐久性被广泛采用。环氧树脂具有较高的抗拉强度，可达到30~40MPa，而且几乎不收缩，能够有效封闭裂缝并阻止水分进一步侵入。施工过程中需控制材料的厚度，一般不超过4mm，以避免由于过厚导致的不均匀干燥和裂缝再次发生。此外，为了提高修补效果，还可以在修补层和原混凝土表面之间涂抹一层粘接促进剂，以增强两者之间的结合力。完成后，需保持修补区域的湿润状态，通常持续湿养7天以上，以确保修补材料的养护和性能发挥。

2. 灌浆法

灌浆法是一种适用于深层裂缝或需要恢复结构完整性的混凝土裂缝修补技术。该方法通过向裂缝中注入灌浆材料来实现裂缝的封闭和结构的增强。常用的灌浆材料包括低黏度环氧树脂和聚氨酯，这些材料能迅速渗透裂缝并在其中固化，形成密实的结构连接。环氧树脂灌浆通常具有高的粘接强度（可达到25MPa）和良好的化学稳定性，使其能有效抵抗化学侵蚀和水蒸气渗透。操作前，需要对裂缝进行彻底清理并在裂缝两侧安装注浆嘴，确保灌浆材料能均匀填充裂缝内部。灌浆过程中，使用专用的注浆泵以适当的压力（通常在0.5~1.0MPa）推动材料流入裂缝，从而保证填充材料的密实度和覆盖范围。灌浆完成后，需对处理区域进行适当的养护，通常包括保持环境温度和湿度的稳定，以促进灌浆材料的完全固化和性能表现。

3. 封闭法

封闭法是一种有效的裂缝修补技术，专门用于处理不影响结构安全但需要防止水分和污染物渗透的表面裂缝。这种方法涉及使用密封剂，如聚硫密封剂、硅酮或聚氨酯密封剂，这些材料具有良好的弹性和粘接性，能够适应温度变化和微小的结构移动而不失效。在应用前，裂缝必须被彻底清理并干燥，确保无尘埃、油脂或其他杂质。密封剂的应用通常使用注射枪或手动工具进行，以确保材料均匀填充裂缝并形成连续的密封层。典型的施工中，裂缝宽度应控制在5mm以上，以便于材料的灌注和固化。密封剂的固化时间依材料的类型及环境条件（如温度和湿度）而异，但通常需要24~48h以达到最佳性能。此外，选择密封剂时应考虑其与混凝土的兼容性及对环境的影响，优选无溶剂和低挥发性有机化

合物（VOC）的产品以减少环境负担。

4. 钢筋补强法

钢筋补强法是一种用于增强已裂缝混凝土结构承载力的修补技术，特别适用于承受较大荷载或在结构安全方面需提升性能的情况。此方法涉及在裂缝区域增设额外钢筋，以及可能的情况下，采用钢板加固。操作前，需对裂缝进行彻底清理和准备，以确保新旧材料之间的良好黏结。增设的钢筋通常需要与现有的钢筋焊接或通过机械连接固定，以形成一体化的加强系统。接着，使用高强度非收缩灌浆材料，如环氧树脂或水泥基灌浆，填充裂缝并固定新加的钢筋。灌浆材料的选择应考虑其与结构使用环境的兼容性，如耐化学性和抗冲击能力。灌浆后，通常需要进行适当的养护，保持环境条件适宜，以确保灌浆材料的最佳性能发挥^[3]。

（二）裂缝控制技术

1. 合理配筋设计

合理配筋设计是控制混凝土结构中裂缝形成与发展的关键技术之一，通过精确计算和布置钢筋来优化混凝土的抗裂性能。在设计阶段，重要的是考虑到混凝土结构的受力特点和使用环境，确保钢筋的类型、直径、间距和覆盖层厚度能够有效地配合混凝土的力学行为。例如，对于受拉区域，应采用较小间距的钢筋布置来提高抗裂能力；钢筋直径通常选择在10mm~25mm之间，以平衡结构强度和经济性；钢筋的覆盖层厚度则需要符合最低要求通常不低于20mm，以保护钢筋免受腐蚀并确保足够的黏结性。此外，使用高延性钢筋可以进一步提高混凝土的抗裂性，能够在不断裂的情况下承受更大的伸长。

2. 温度控制措施

温度控制措施在混凝土施工中起着至关重要的作用，特别是在防止由温度变化引起的裂缝形成方面。为了有效控制混凝土的温度和减少热应力，可以采用多种方法来调整和稳定施工过程中的温度条件。首先，使用低热水泥是一种常见的方法，它能显著减少水化热的产生，从而降低混凝土内部的温度梯度。此外，冷却水或添加冰块到混凝土混合物中是另一种有效的温度控制策略，能够在水化反应过程中保持较低的温度，特别适用于大体积混凝土的浇筑。在温度高的环境下施工时，采用遮阳帆和喷雾冷却系统也非常有效，这些措施可以减少太阳辐射引起的表面温升，避免表层和内层的温差过大。针对温度控制的具体参数，例如在混凝土浇筑过程中维持的最大温度差不应超过20℃，以防止热裂缝的形成。最后，实施有效的养护程序，如湿润养护，也是控制混凝土温度和预防裂缝的重要方法，这一措施有助于缓慢混凝土的温度变化并提高其整体耐久性。

3. 收缩补偿措施

收缩补偿措施是混凝土施工中关键的技术手段，旨在减轻由混凝土收缩引起的应力和裂缝。为了有效应对混凝土的自然收缩过程，可以采取几种策略来调节和补偿这一现象。首先，使用收缩补偿混凝土（Shrinkage-compensating concrete）是一种流行的方法，该混

土通过添加特定类型的膨胀剂，如硫铝酸盐或石灰石，以产生微量的膨胀反应，对抗由于干燥和水化收缩引起的体积减少。这种混凝土的设计目标是产生足够的膨胀力来抵消预期的收缩量，通常膨胀率设置在0.03%~0.08%的范围内，以确保整体结构的稳定性和裂缝控制。另外，采用预应力技术也是控制收缩裂缝的有效手段。通过施加预应力，可以在混凝土硬化过程中引入压应力，这有助于抵抗后期发生的拉应力，从而减少裂缝的发生。预应力可以通过预拉或后张方法施加，具体方法取决于结构的设计和施工条件。此外，优化混凝土配方，如使用低水胶比和添加高效减水剂，也能有效控制混凝土的收缩性能^[4]。

4. 防水处理技术

防水处理技术在混凝土结构中的应用至关重要，尤其是在裂缝控制方面，以防止水和其他侵蚀性液体的渗透，从而增强结构的耐久性和完整性。混凝土的防水处理通常涉及使用各种防水材料和技术来形成对水的阻隔。常用的防水材料包括涂布型防水剂、渗透性防水剂以及水泥基防水涂料。涂布型防水剂如聚氨酯或丙烯酸涂料在混凝土表面形成一层塑性或橡胶状薄膜，具有良好的弹性和附着力，能够适应基体的轻微变形而不破裂，其厚度一般控制在1mm~2mm之间。渗透性防水剂如硅基或水晶型渗透剂则通过化学反应在混凝土内部形成防水晶体，堵塞毛细孔，防止水分穿透，这种处理既不改变混凝土的外观也提高了其自我修复能力。此外，水泥基防水涂料通过在混凝土表面形成一层致密的防水层，有效阻隔水分和化学物质的渗透，这种涂料一般适用于地下室、水池和其他需要持久防水的结构部位。

（三）裂缝预防技术

1. 原材料质量控制

原材料质量控制是混凝土裂缝预防的基础步骤，确保使用的水泥、骨料和添加剂均满足高标准的质量要求，从而优化混凝土的整体性能并最小化裂缝风险。水泥质量的控制关键在于其稳定性和一致性，应符合ASTM标准，保证低碱含量和适当的硫酸盐含量，以减少水化热和避免碱骨料反应。骨料的选择应考虑其粒径分布、形状和表面纹理，优选圆滑、级配良好的骨料以提高混凝土的工作性和减少空隙，其中最大粒径通常不超过20mm，以确保混凝土混合物的均匀性和紧密度。添加剂如减水剂和空气引入剂的使用应严格控制其用量，根据混凝土设计要求调整，以达到理想的流动性和耐久性，同时避免过量添加引起的分层或强度下降。此外，对于水的质量控制也至关重要，应使用清洁、无杂质的水，避免含有害化学物质和生物污染的水源，这些杂质会影响水泥的水化反应和混凝土的硬化。

2. 施工工艺控制

施工工艺控制在混凝土裂缝预防中起着决定性作用，通过精确的施工方法和技术确保混凝土的均匀性和结构完整性。首先，混凝土的浇筑速度和方法必须严格

控制，以避免因浇筑过快引起的空气夹杂和不均匀沉降。通常推荐的浇筑速度应保持在每小时不超过2.5m的垂直升高，以确保混凝土层之间有足够的进行适当的振捣和紧实。振捣是确保混凝土紧密度和消除气泡的关键步骤，使用振动棒应均匀进行，避免过度振捣导致分层或水泥浆析出。同时，控制混凝土的养护环境，尤其是温度和湿度，对于防止早期干缩裂缝至关重要。在养护阶段，应维持相对湿度在70%以上，且温度应控制在10~25℃之间，以促进水泥水化反应的完成并最大限度减少收缩。此外，应用预应力或后张法在混凝土中引入压应力，也是有效控制裂缝的一种方法，特别是在大跨度或高负载结构中。

3. 环境条件控制

环境条件控制对于防止混凝土裂缝的形成至关重要，尤其是在混凝土的浇筑和养护阶段。适当的环境条件控制包括温度、湿度和风速的管理，这些都直接影响混凝土的水化反应及其收缩特性。在浇筑过程中，维持环境温度在10~25℃之间是理想的，因为过高或过低的温度都会加速或延缓水泥的水化反应，导致不均匀硬化，从而增加裂缝风险。此外，相对湿度应保持在70%以上，以避免混凝土表面过快蒸发水分，造成塑性收缩裂缝。在极端天气条件下，如高温、直射阳光或强风天气，应采取保护措施如设置遮阳布或使用蒸汽养护系统来控制养护环境，保持混凝土的水分和温度条件^[5]。

结语

总而言之，掌握和实施高效的混凝土裂缝施工处理技术是确保土木工程建筑结构完整性和延长其使用寿命的关键。从选择高质量的原材料开始，到精确控制施工过程中的各项技术参数，每一步都对防止裂缝的产生至关重要。此外，适当的环境条件控制可以进一步降低由于气候因素引起的裂缝风险。通过综合运用表面修补法、灌浆法、封闭法以及钢筋补强法等多种技术，可以有效应对已存在的裂缝问题，从而提高结构的安全性和功能性。这些方法的成功实施，不仅依赖于技术的精确执行，还需要对现场具体情况的细致评估与适应，确保每项措施都能达到预期的效果。

参考文献

- [1] 刘春玲. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (19): 204-206.
- [2] 刘利洋. 论土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术[J]. 佛山陶瓷, 2023, 33(12): 44-46.
- [3] 颜钊, 矫龙军. 论土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S1): 295-296+299.
- [4] 张振. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析[J]. 绿色环保建材, 2021, (12): 113-114.
- [5] 张智远. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析[J]. 中国建筑金属结构, 2021, (05): 98-99.